

Verfahren zum Zünden der Verbrennung eines Kraftstoffes in einem  
Verbrennungsraum eines Motors, zugehörige Vorrichtung und Motor

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Zünden der Verbrennung eines  
Kraftstoffes in einem Verbrennungsraum eines Motors sowie eine  
5 zugehörige Zündvorrichtung und einen zugehörigen Motor.

Weil der Zündvorgang einen maßgeblichen Einfluss auf die Effizienz von  
Verbrennungsmotoren hat, insbesondere bei vorgegebener Motorleistung  
den Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffemission maßgeblich  
10 mitbestimmt, wurden bereits in der Vergangenheit umfangreiche  
Anstrengungen zur Optimierung des Zündvorgangs vorgenommen.  
Die heute gebräuchlichsten Zündvorrichtungen verwenden Zündkerzen,  
die das Kraftstoff-Luft-Gemisch zünden. Diese Zündkerzen können eine  
oder mehrere Elektroden aufweisen. Jede dieser Elektroden erzeugt einen  
15 Zündfunken, der das Kraftstoff-Luft-Gemisch in der unmittelbaren  
Umgebung der Elektrode zündet. Die Verbrennung beginnt  
dementsprechend zuerst in einem sehr kleinen Startvolumen um die  
Elektroden der Zündkerzen herum. Im Anschluss daran breitet sich die  
Verbrennung mit einer allerdings begrenzten Geschwindigkeit aus.

In der DE 195 27 873 A1 und der US 5,136,994 ist eine Glühkerze beschrieben, die zur Herabsetzung des für die Zündung erforderlichen Energieaufwandes eine katalytische Oberflächenbeschichtung des Glühtheiles aufweist. Nachteilig ist daran, dass zum einen die Herstellkosten  
5 aufgrund der erforderlichen Katalysatorwerkstoffe erhöht sind und zum anderen der Verbrennungsvorgang nur unwesentlich optimiert ist. Die US 4,774,914 und US 6,595,194 beschreiben eine Zündvorrichtung, die einen besonders großen Zündfunken generieren soll.

10 Die US 4,113,315 beschreibt ein Zweikammer-Zündverfahren, bei dem das Kraftstoff-Luft-Gemisch durch eine Zündquelle in einem ersten, kleinen Zündraum gezündet wird und durch die eintretende Flammenausbreitung anschließend das Kraftstoff-Luft-Gemisch im größeren zweiten Raum, dem eigentlichen Zylinder, entzündet. Die US 4,499,872 zeigt eine  
15 Weiterentwicklung dieses Zweikammer-Zündverfahrens, bei der ein Gemisch aus ionisiertem Wasser und Kraftstoff mit Hilfe von magnetischen Feldern und mehreren Zündstangen gezündet wird. Den Zweikammer-Zündverfahren ist gemeinsam, dass sie einen hohen konstruktiven und damit Herstellungsaufwand erfordern.

20 Aus der US 5,673,554 und der US 5,689,949 sind Zündverfahren bekannt, bei denen Mikrowellenenergie dazu verwendet wird, im Verbrennungsraum ein Plasma zu erzeugen, welches das Kraftstoff-Luft-Gemisch zündet. Die Entstehung des Plasmas ist dabei wesentlich von der  
25 Einhaltung enger Randbedingungen hinsichtlich der Ausbildung eines Resonanzmodes abhängig, was insbesondere im Hinblick auf den sich Auf und Ab bewegendenden Kolben des Motors zu erheblichen konstruktiven Aufwendungen führt. Darüber hinaus begrenzt der Mikrowellensender den

Weg der Kolbenbewegung im Motor. Entsprechendes gilt auch für die US 5,845,480.

- Die US 5,983,871 beschreibt eine Kombination der Einkopplung von Mikrowellen- und Laserenergie für die Erzeugung des Plasmas. Dadurch wird die Komplexität der Zündvorrichtung und des Zündverfahrens sowie des zugehörigen Motors weiter erhöht. Entsprechendes gilt für die US 6,581,581, welche eine Kombination der Zündung durch Mikrowellenplasma und einer magnetischen Ionisierung des atomisierten Kraftstoff-Luft-Gemisches beschreibt.

Den bekannten Verfahren ist gemeinsam, dass sie aufwendige und damit kostenintensive und wartungsintensive Konstruktionen erfordern und darüber hinaus nur eine begrenzte Lebensdauer aufweisen.

- Die Leistungsfähigkeit und Effizienz der Verbrennungsvorgangs und mithin des dadurch angetriebenen Motors sind darüber hinaus beschränkt. Hinzu kommt, dass die Schadstoffemission nicht ausreichend reduziert ist. Insbesondere wird durch die zwecks Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs erfolgte Abmagerung des Kraftstoff-Luft-Gemisches eine geringere Verbrennungstemperatur erzielt, was eine geringere Leistung mit sich bringt. Die geringere Verbrennungstemperatur führt außerdem zu einer erhöhten Schadstoffemission.

- Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Zünden der Verbrennung eines Kraftstoffes in einem Verbrennungsraum eines Motors sowie eine zugehörige Zündvorrichtung und einen zugehörigen Motor bereitzustellen, welche die Nachteile des Standes der Technik überwinden. Insbesondere soll die Zündung erfindungsgemäß so erfolgen, dass sich ein optimierter Verbrennungsverlauf ergibt, insbesondere

bei vorgegebener Leistung ein reduzierter Kraftstoffverbrauch und eine reduzierte Schadstoffemission.

Die Aufgabe ist durch das im Anspruch 1 bestimmte Verfahren sowie durch  
5 die in den nebengeordneten Ansprüchen bestimmte Vorrichtung und Motor  
gelöst. Besondere Ausführungsarten der Erfindung sind in den  
Unteransprüchen bestimmt.

Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zum Zünden der  
10 Verbrennung eines Kraftstoffes in einem Verbrennungsraum eines Motors  
durch Einkoppeln von in einer Mikrowellenquelle außerhalb des  
Verbrennungsraums erzeugter Mikrowellenstrahlung in den  
Verbrennungsraum, wobei die eingekoppelte Mikrowellenstrahlung von  
dem im Verbrennungsraum verteilten Kraftstoff absorbiert wird, und wobei  
15 durch den aufgrund der Absorption entstehenden Energieeintrag in den  
Kraftstoff die Verbrennung vorzugsweise großvolumig im  
Verbrennungsraum gleichmäßig verteilt und im wesentlichen gleichzeitig  
gezündet wird, vorzugsweise im gesamten Verbrennungsraum gleichmäßig  
verteilt und im wesentlichen gleichzeitig gezündet wird.

20 In der Regel befindet sich im Verbrennungsraum ein Gemisch aus Kraftstoff  
und einer Sauerstoffquelle, beispielsweise ein Kraftstoff-Luft-Gemisch.  
Durch die Bewegung eines Kolbens im Zylinder ist darüber hinaus häufig  
das Kraftstoff-Luft-Gemisch während des Zündvorgangs verdichtet. Die  
25 Einkopplung der Mikrowellenstrahlung erfolgt vorzugsweise so, dass sich  
eine möglichst homogene Energiedichteverteilung im Verbrennungsraum  
ergibt. Hierzu kann entweder das Mikrowellenfenster verhältnismäßig  
großflächig sein oder ein kleinflächiges Mikrowellenfenster verwendet  
werden. Im letztgenannten Fall kann es vorteilhaft sein, an der Eintrittsstelle

der Mikrowellenstrahlung in den in der Regel zylindrischen Verbrennungsraum eine Diffusoreinrichtung vorzusehen, beispielsweise eine geeignete, flächige Punkt-, Linien- oder Gitterstruktur vorzusehen, welche die Einstrahlung der Mikrowellen in den Verbrennungsraum mit einer isotropen Richtungscharakteristik bewirkt. Gegebenenfalls kann durch die Ausgestaltung des Diffusors eine vorgebbare Energiedichteverteilung im Verbrennungsraum erreicht werden.

Die Wellenlänge der Mikrowellen beträgt vorzugsweise zwischen 0,1 cm und 45 cm, insbesondere zwischen 1 cm und 15 cm und typisch zwischen 3 cm und 10 cm. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Mikrowellen impulsförmig eingekoppelt, wobei hierfür einer oder mehrere Mikrowellenimpulse verwendet werden kann. Die Leistung der Mikrowellenimpulse ist abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall und kann beispielsweise zwischen einem Kilowatt und 70 kW betragen. Die Impulsdauer kann beispielsweise zwischen 1 nsec und 2 msec erfolgen, wobei der Impulsabstand bei mehreren Mikrowellenimpulsen typisch zwischen 100 nsec und 2 msec liegt.

Die zugeführte Mikrowellenenergie wird unmittelbar zur gleichzeitigen und gleichmäßigen Zündung des gesamten Kraftstoff-Luft-Gemisches verwendet. Durch die in Bezug auf die Geschwindigkeit der Kolbenbewegung verhältnismäßig kurze Impulsdauer ist die Veränderung des Volumens des Verbrennungsraums während der Impulsdauer vernachlässigbar klein. Die Leistung des Mikrowellenimpulses muss ausreichend hoch gewählt werden, damit genügend Zündenergie in den Verbrennungsraum eingekoppelt wird.

Durch die zugeführte Mikrowellenenergie werden die im Kraftstoff-Luft-Gemisch vorhandenen Kraftstofftröpfchen bis zur Zündtemperatur erhitzt und dadurch das Gemisch gezündet. Im Gegensatz zum Stand der Technik wird bei der vorliegenden Erfindung die Erzeugung eines Plasmas  
5 vermieden.

Im Gegensatz zu den bekannten Zündsystemen erfolgt bei der vorliegenden Erfindung die Zündung nicht an einem einzigen vorgegebenen Ort im Verbrennungsraum und muss sich daher auch nicht anschließend  
10 verhältnismäßig langsam ausbreiten, sondern vorzugsweise wird im gesamten Verbrennungsraum das gesamte Kraftstoff-Luft-Gemisch nahezu gleichzeitig und gleichmäßig gezündet.

Bei den bekannten Zündverfahren läuft der Verbrennungsprozess des Kraftstoff-Luft-Gemisches im Verbrennungsmotor in zwei Phasen ab: In der  
15 ersten, verhältnismäßig langsamen, so genannten laminaren Phase begrenzt die laminare Flammgeschwindigkeit im Wesentlichen die Geschwindigkeit des Verbrennungsprozesses des Motors und damit die Effizienz. Typische laminare Flammgeschwindigkeiten insbesondere von modernen  
20 Verbrennungsmotoren mit abgemagerten Gemischzusammensetzungen betragen etwa 10 cm/sec. An die laminare Phase schließt sich die so genannte turbulente Verbrennungsphase als zweite Phase an. Unter dem Gesichtspunkt einer möglichst hohen Effizienz sollte stets möglichst schnell die zweite turbulente Verbrennungsphase erreicht werden. Hierauf  
25 konzentrieren sich auch einige Bemühungen aus dem Stand der Technik, bei denen aber nach wie vor für das Erreichen der zweiten Phase der Ablauf der ersten Phase erforderlich ist.

Im Gegensatz dazu wird gemäß der vorliegenden Erfindung die erste, langsame laminare Verbrennungsphase vollständig übersprungen und die Zündung führt unmittelbar zur zweiten, schnellen turbulenten Verbrennungsphase.

5

Die Erfindung betrifft auch eine Zündvorrichtung zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens. Als elektrische Energieversorgungsquelle kommt dabei vorzugsweise ein Impuls-Hochspannungsnetzteil in Betracht, welches die für die Mikrowellenimpulse erforderliche Energie bereitstellt.

- 10 Als Mikrowellenquelle kann beispielsweise ein Magnetron, Klystron, Gyrotron, eine Wanderfeldröhre (Travelling Wave Tube, TWT) oder dergleichen eingesetzt werden. Eventuelle Mikrowellenverbindungen sind hinsichtlich ihrer Abmessungen an die Wellenlänge der Mikrowellenquelle anzupassen, um Reflektionen und Leitungsverluste möglichst klein zu
- 15 halten. Gegebenenfalls kann die Mikrowellenleitung auch flexibel ausgestaltet sein.

- In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist zwischen der Mikrowellenquelle und dem Mikrowellenfenster eine Koppereinrichtung
- 20 angeordnet, welche einerseits die von der Mikrowellenquelle gesendeten Mikrowellen an das Mikrowellenfenster überträgt, andererseits die vom Verbrennungsraum reflektierten Mikrowellen aber nicht zurück in die Mikrowellenquelle überträgt. Insbesondere kann diese Koppereinrichtung ein Dreitor aufweisen, insbesondere einen Zirkulator, an dessen erstem Tor
- 25 die Mikrowellenquelle, dessen zweitem Tor das Mikrowellenfenster und dessen drittem Tor ein vorzugsweise passiver Mikrowellenverbraucher angeschlossen ist. Der Zirkulator hat die Funktion, Mikrowellenenergie von der Mikrowellenquelle zum Verbrennungsraum weiterzuleiten und gleichzeitig die vom Verbrennungsraum zurückgestrahlte

Mikrowellenenergie zum passiven Mikrowellenverbraucher umzuleiten, der die vom Verbrennungsraum reflektierte Mikrowellenenergie absorbiert. Dadurch wird die Mikrowellenquelle vor den reflektierten Mikrowellenstrahlen geschützt. Der Zirkulator kann, um die Funktion der  
5 Reduktion von zurückgestrahlter Mikrowellenenergie zu verbessern, einen gasgefüllten Entlader enthalten.

Das Mikrowellenfenster ist für die Mikrowellenenergie im Wesentlichen durchlässig, insbesondere kann auch eine hohe Mikrowellenleistung  
10 hindurchtransportiert werden, und dichtet andererseits den Verbrennungsraum nach außen ab. Eine mögliche Ausführungsform des Mikrowellenfensters besteht in einer keramischen Scheibe, einer Scheibe aus Saphirglas oder einem anderen geeigneten Werkstoff. Das  
15 Mikrowellenfenster kann darüber hinaus beispielsweise flächige oder auch dreidimensionale Strukturen aufweisen, vorzugsweise an der Oberfläche, beispielsweise durch Aufbringen einer metallischen Struktur, durch welche eine vorgebbare Abstrahlcharakteristik der Mikrowellenenergie in den Verbrennungsraum hinein gewährleistet ist.

20 Der Erfindung betrifft auch einen Motor mit einer Zündvorrichtung, die nach dem erfindungsgemäßen Zündverfahren arbeitet. Bei einer besonderen Ausführungsart handelt es sich um einen Otto-Motor, Wankel-Motor, SIDI-(Spark Ignition Direct Injection)-Motor oder Diesel-Motor, bei dem ein Kraftstoff-Luft-Gemisch im Verbrennungsraum gezündet wird.

25 Die vorliegende Erfindung führt zu einer optimalen Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches in einem erfindungsgemäßen Motor dadurch, dass im gesamten Verbrennungsraum durch die gleichzeitige und gleichmäßige Zündung und Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches keine erste,



langsame laminare Verbrennungsphase entsteht, sondern die zweite, schnelle turbulente Verbrennungsphase beim Zünden unmittelbar gestartet wird. Hierzu werden im gesamten Verbrennungsraum kleine turbulente, sich unabhängig voneinander ausbreitende Zünd- und Verbrennungszonen erzeugt, nahezu gleichzeitig in sehr großer Anzahl. Dementsprechend wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch im gesamten Verbrennungsraum nahezu gleichzeitig gezündet und anschließend verbrannt.

Durch die Verwendung mehrerer Mikrowellenimpulse werden die im Kraftstoff-Luft-Gemisch vorhandenen Kraftstofftröpfchen stufenweise bis zum Erreichen der Zündtemperatur erhitzt. Dadurch werden die grundsätzlich unerwünschten unterschiedlichen Temperaturbereiche im Verbrennungsraum vermieden, denn die stufenweise Anhebung der Temperatur führt zu einer Vergleichmäßigung und damit im Endeffekt zu einer praktisch gleichzeitigen und gleichförmigen Zündung des gesamten Gemisches im Verbrennungsraum. Außerdem wird durch die Mehrfachimpulse die grundsätzlich ebenfalls unerwünschte Plasmaerzeugung verhindert.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen mehrere Ausführungsbeispiele im Einzelnen beschrieben sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein.

Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau einer erfindungsgemäßen Zündvorrichtung,

Fig. 2 bis 4 zeigen die Leistung eines Motors in Abhängigkeit von der Reduzierung der Kraftstoffmenge im Kraftstoff-Luft-Gemisch (Abmagerung), und

Fig. 5 zeigt den CO-Gehalt eines Motors in Abhängigkeit von der Abmagerung.

Die Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau einer erfindungsgemäßen Zündvorrichtung 1 für einen ebenfalls nur schematisch dargestellten Motor 2, von dem nur der Zylinder 3 und der sich darin Auf und Ab bewegend Kolben 4 dargestellt ist. Der Kolben 4 und der Zylinder 3 begrenzen den Verbrennungsraum 5, in dem sich idealerweise gleichverteilt ein Kraftstoff-Luft-Gemisch befindet. In der Darstellung der Fig. 1 befindet sich der Kolben 4 annähernd im oberen Totpunkt.

Die Zündvorrichtung 1 umfasst zunächst ein Impuls-Hochspannungsnetzteil 6, mit dessen Energie die Mikrowellenquelle 7 betrieben wird. Ein erstes Stück einer vorzugsweise biegsamen Mikrowellenleitung 8 ist flanschartig mit einem ersten Anschlussflansch 9 des Zirkulators 10 verbunden. Auf der dem ersten Anschlussflansch 9 gegenüberliegenden Seite weist der Zirkulator 10 einen zweiten Anschlussflansch 11 auf, der flanschartig mit einer zweiten Mikrowellenleitung 12 verbunden ist, die ebenfalls vorzugsweise biegsam ist und zu dem Mikrowellenfenster 13 führt.

Das Mikrowellenfenster 13 ist derart an der Mantelfläche des Zylinders 3 festgelegt, dass die Einstrahlung der Mikrowellen so in den Verbrennungsraum 5 erfolgt, dass sich eine möglichst homogene Energiedichte Verteilung im Verbrennungsraum 5 ergibt. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel besteht das Mikrowellenfenster 13 aus einer keramischen Scheibe, die derart in dem Zylinder 3 eingefügt ist, dass

der Verbrennungsraum 5 nach außen abgedichtet ist. Das Mikrowellenfenster 13 kann insbesondere auf seiner dem Verbrennungsraum 5 zugewandten Seite Strukturen 14 aufweisen, durch die eine diffuse Einstrahlungscharakteristik der Mikrowellen in den

5 Verbrennungsraum 5 gewährleistet ist.

Durch den Zirkulator 10 wird entsprechend dem durch den Pfeil 15 repräsentierten Energiefluss die über den ersten Anschlussflansch 9 zugeführte Mikrowellenenergie praktisch ungedämpft über den zweiten

10 Anschlussflansch 11 dem Mikrowellenfenster 13 zugeführt und damit in den Verbrennungsraum 5 eingekoppelt. Im Verbrennungsraum 5 auftretende Reflektionen können zu einer Rückstrahlung von Mikrowellenenergie über die zweite Mikrowellenleitung 12 und in den zweiten Anschlussflansch 11 führen. Der Zirkulator 10 gewährleistet in

15 diesem Fall allerdings eine Ableitung der Mikrowellenenergie gemäß dem Pfeil 16, nämlich nicht zurück in den ersten Anschlussflansch 9, sondern über einen dritten Anschlussflansch 17, an den eine dritte Mikrowellenleitung 18 angeschlossen ist, die den reflektierten Energiestrom zu einem passiven Mikrowellenverbraucher 19 führt. Die Anschlussflansche

20 9, 11, 17 des Zirkulators 10 können auch entgegen der Darstellung in der Fig. 1 jeweils in einem Winkelabstand von  $120^\circ$  symmetrisch angeordnet sein.

Das erfindungsgemäße Zündverfahren wurde mit einer erfindungsgemäßen

25 Zündvorrichtung an einem Verbrennungsmotor getestet. Es handelte sich dabei um einen Viertakt Otto-Motor mit vier Zylindern und einem Volumen von  $1.300 \text{ cm}^3$ . Die Motorleistung betrug 63 PS/46,6 kW. Beim Betrieb mit einem konventionellen Zündsystem betrug der Kraftstoffverbrauch etwa 6,5 Liter je 100 km.

Bei diesem Serienmotor wurden die Zündkerzen entfernt und an deren Stelle keramische Scheiben als Dichtungen und als Mikrowellenfenster eingesetzt. Der Aufbau der Zündvorrichtung 1 entsprach dem der Fig. 1.

- 5 Der Verbrennungsmotor war mechanisch mit einem elektrischen Generator verbunden, damit war es möglich, die Motorleistung zu bestimmen. An dem Generator war ein ohmscher Verbraucher angeschlossen, der sich in einem Wasserkalorimeter befand.

- 10 Die Figuren 2 bis 4 zeigen die Leistung des Motors in Abhängigkeit von der Reduzierung der Kraftstoffmenge im Kraftstoff-Luft-Gemisch (Abmagerung) in drei unterschiedlichen Betriebsbereichen, nämlich bei Volllast (Fig. 2), Halblast (Fig. 3) und Drittellast (Fig. 4.). Der Faktor der Abmagerung ist dabei als der Bruchteil zu verstehen, auf den der Kraftstoffanteil reduziert
- 15 wurde, in den Darstellungen der Figuren 2 bis 4 ausgehend von 1/1 bis zu 1/4,5-ten. Dabei zeigt sich, dass bei einem Betrieb mit der erfindungsgemäßen Zündvorrichtung der Kraftstoffanteil im Gemisch selbst bei Volllast um den Faktor 3 abgemagert werden kann, ohne dass die Leistung reduziert ist; bei Drittellast beträgt dieser Faktor sogar 3,5.

20

- Die Fig. 5 zeigt die Reduzierung des Kohlenmonoxid (CO)-Gehalts in den Abgasen des erfindungsgemäßen Motors in Abhängigkeit von der Konzentration des Kraftstoffs im Kraftstoff-Luft-Gemisch. Selbst beim Faktor 1 ist die Konzentration von CO mit 0,05 Vol% deutlich geringer als
- 25 beim Standardmotor mit herkömmlicher Zündvorrichtung, wo dieser Wert etwa 0,20 Vol% beträgt. Bei einer Abmagerung um den Faktor 3 lässt sich der CO-Gehalt noch einmal herabsetzen bis auf 0,02 Vol%. Dies bedeutet eine Reduzierung des CO-Ausstoßes um den Faktor 10. Bei annähernd gleicher Leistung betrug der Verbrauch mit dem erfindungsgemäßen

Zündverfahren nur etwa 2,3 Liter Otto-Kraftstoff auf 100 km, mithin nur noch etwa ein Drittel gegenüber dem Verbrauch mit konventionellem Zündverfahren.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Zünden der Verbrennung eines Kraftstoffes in einem  
Verbrennungsraum (5) eines Motors (2) durch Einkoppeln von in einer  
5 Mikrowellenquelle (7) außerhalb des Verbrennungsraums (5)  
erzeugter Mikrowellenstrahlung in den Verbrennungsraum (5), wobei  
die eingekoppelte Mikrowellenstrahlung von dem im  
Verbrennungsraum (5) verteilten Kraftstoff absorbiert wird, und wobei  
durch den aufgrund der Absorption entstehenden Energieeintrag in  
10 den Kraftstoff die Verbrennung großvolumig im Verbrennungsraum (5)  
verteilt, vorzugsweise im gesamten Verbrennungsraum (5)  
gleichmäßig verteilt, im wesentlichen gleichzeitig gezündet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die  
15 Mikrowellenstrahlung in Form von einem oder mehreren  
Mikrowellenimpulsen kurzer Zeitdauer und hoher Energie  
eingekoppelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass abhängig  
20 vom Betriebszustand des Motors (2) und der Leistungsanforderung an  
den Motor (2) die Anzahl der Mikrowellenimpulse, und/oder deren  
Leistung, und/oder deren Impulsdauer, und/oder deren Zeitpunkt  
gesteuert wird.
- 25 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass  
vorzugsweise 1 bis 10 Mikrowellenimpulse, insbesondere 1 bis 5  
Mikrowellenimpulse, vorzugsweise mit einer Leistung zwischen 1 kW  
und 70 kW, einer Impulsdauer zwischen 1 ns und 2 ms, und einem  
Impulsabstand zwischen 100 ns und 2 ms verwendet werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass für den Zündvorgang mehrere Mikrowellenimpulse mit vorzugsweise unterschiedlicher Leistung und/oder Impulsdauer eingekoppelt werden, die durch einen schrittweisen Energieeintrag eine Nivellierung der Temperaturerhöhung des im Verbrennungsraum (5) verteilten Kraftstoffes bis hin zur Zündtemperatur gewährleisten.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Wahl der Zeitdauer der Einkopplung der Mikrowellenstrahlung, deren Leistung und gegebenenfalls der Impulsdauer und des Impulsabstandes die Entstehung eines Plasmas im Verbrennungsraum (5) verhindert wird.
7. Vorrichtung (1) zum Zünden der Verbrennung eines Kraftstoffes in einem Verbrennungsraum (5) eines Motors (2), wobei die Vorrichtung (1) eine außerhalb des Verbrennungsraums (5) angeordnete Mikrowellenquelle (7) und ein mit der Mikrowellenquelle (7) verbundenes Mikrowellenfenster (13) aufweist, und wobei über das Mikrowellenfenster (13) die Mikrowellenstrahlung in den Verbrennungsraum (5) einkoppelbar ist, so dass die eingekoppelte Mikrowellenstrahlung von dem im Verbrennungsraum (5) verteilten Kraftstoff absorbierbar ist, und durch den aufgrund der Absorption entstehenden Energieeintrag in den Kraftstoff die Verbrennung großvolumig im Verbrennungsraum (5) verteilt, vorzugsweise im gesamten Verbrennungsraum (5) gleichmäßig verteilt, im wesentlichen gleichzeitig zündbar ist.

8. Vorrichtung (1) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrowellenquelle (7) von einer elektrischen Energieversorgungsquelle (6) gespeist ist, die elektrische Impulse liefert, welche durch die Mikrowellenquelle (7) in Mikrowellenimpulse umwandelbar sind.
- 5
9. Vorrichtung (1) nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Mikrowellenquelle (7) und dem Mikrowellenfenster (13), vorzugsweise im Verlauf der Mikrowellenleitung (8, 12), eine Koppeleinrichtung (10) angeordnet ist, welche die von der Mikrowellenquelle (7) gesendeten Mikrowellen an das Mikrowellenfenster (13) überträgt, die vom Verbrennungsraum (5) reflektierten Mikrowellen aber nicht zurück in die Mikrowellenquelle (7) überträgt.
- 10
- 15
10. Vorrichtung (1) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Koppeleinrichtung (10) ein Dreitor aufweist, insbesondere einen Zirkulator (10), an dessen erstem Tor die Mikrowellenquelle (7), dessen zweitem Tor das Mikrowellenfenster (13) und dessen drittem Tor ein vorzugsweise passiver Mikrowellenverbraucher (19) angeschlossen ist.
- 20
11. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Mikrowellenfenster (13) einen keramischen Werkstoff aufweist oder vollständig aus einem keramischen Werkstoff besteht.
- 25
12. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrowellenquelle (7) mit dem



Mikrowellenfenster (13) durch eine vorzugsweise biegsame Mikrowellenleitung (8, 12) verbunden ist.

13. Motor (2) mit einer Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis  
5 12 zum Zünden der Verbrennung eines Kraftstoffes in einem Verbrennungsraum (5) des Motors (2).
14. Motor (2) nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass es sich  
10 um einen Otto-Motor, Wankel-Motor, SIDI-(Spark Ignition Direct Injection)-Motor oder Diesel-Motor handelt und dass ein Kraftstoff-Luft-Gemisch im Verbrennungsraum (5) gezündet wird.

1 / 3

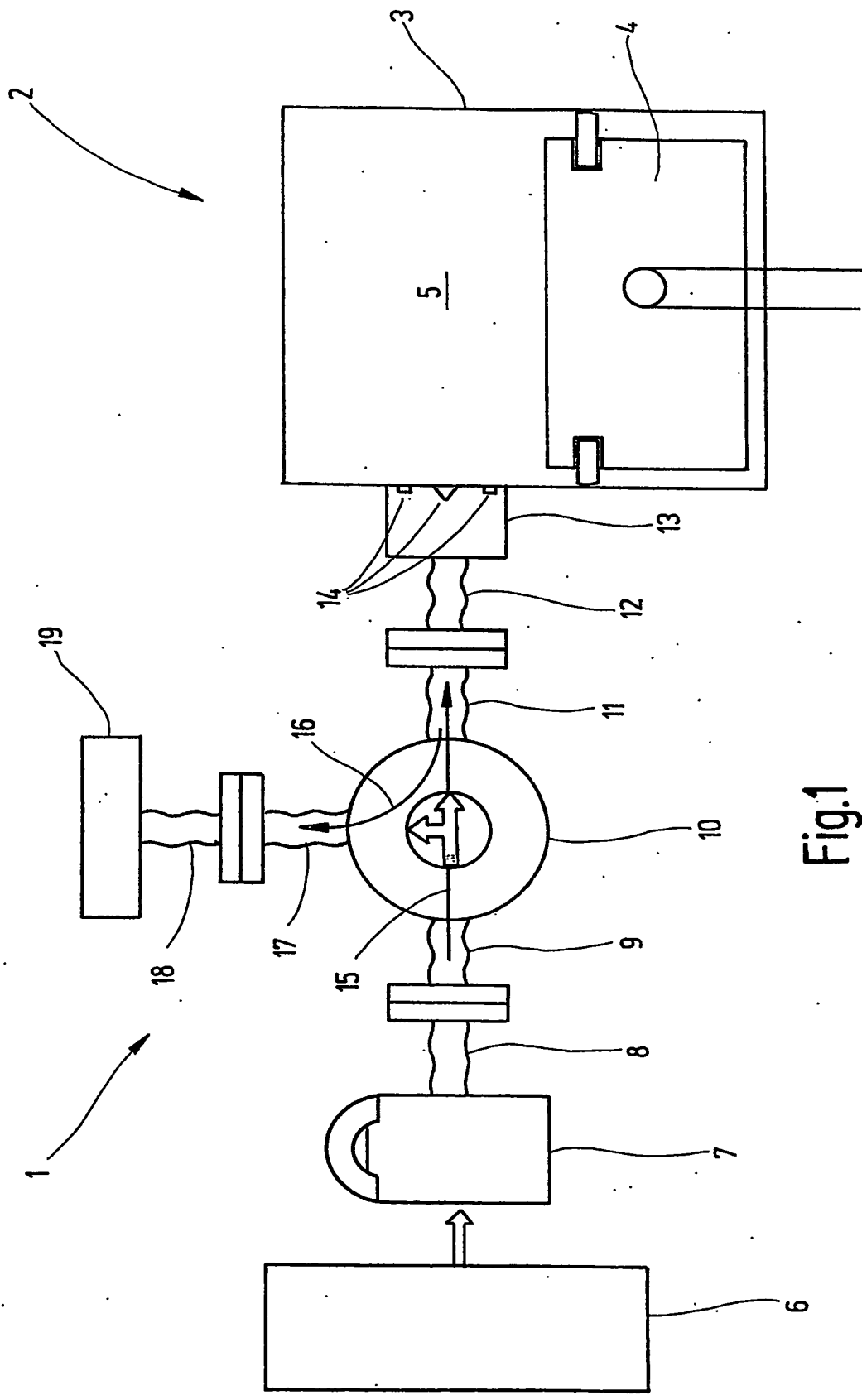
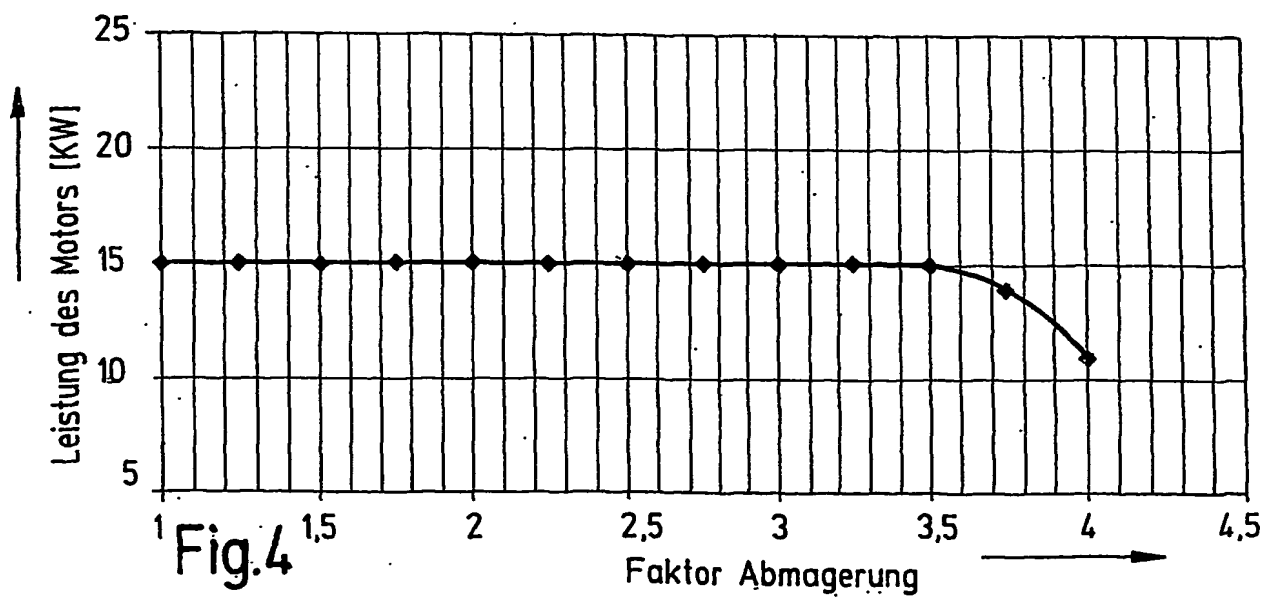
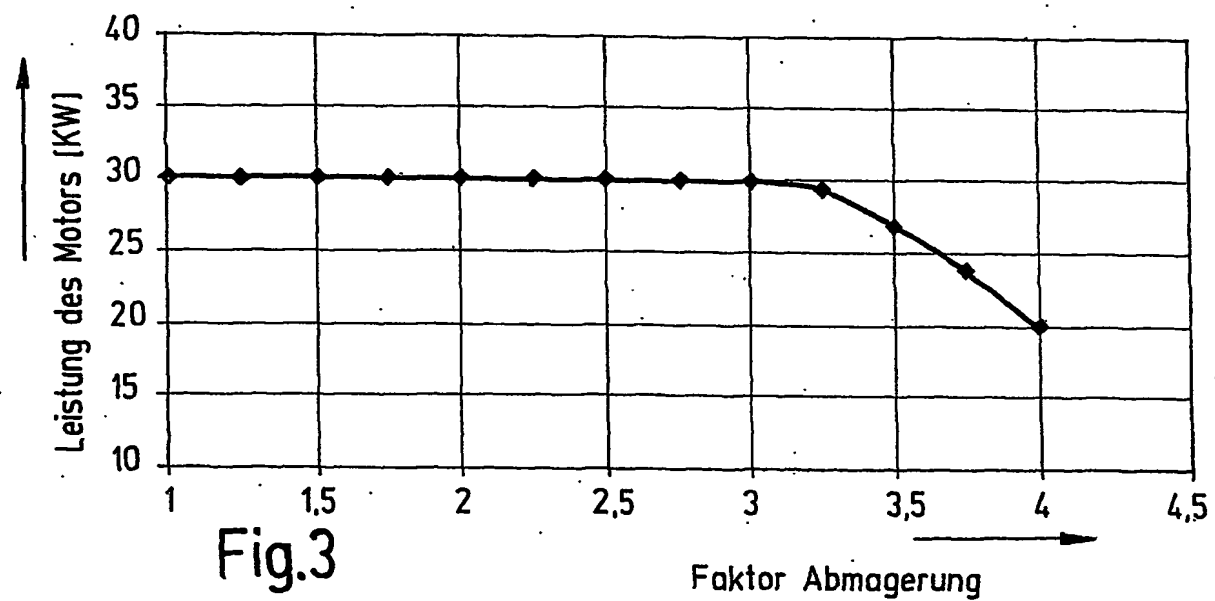
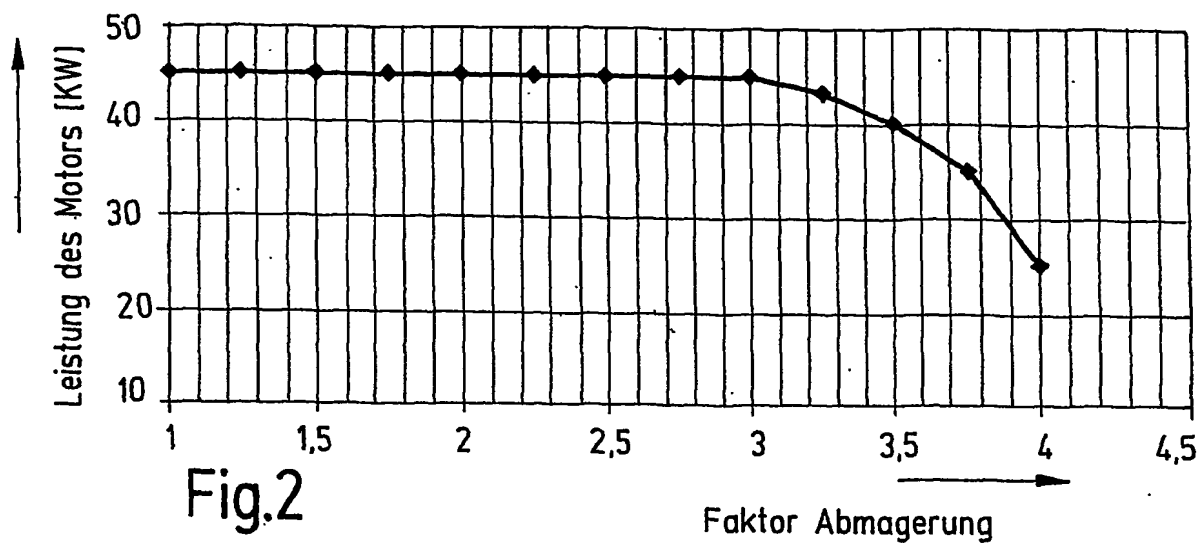


Fig.1

BEST AVAILABLE COPY

2 / 3



BEST AVAILABLE COPY

3 / 3

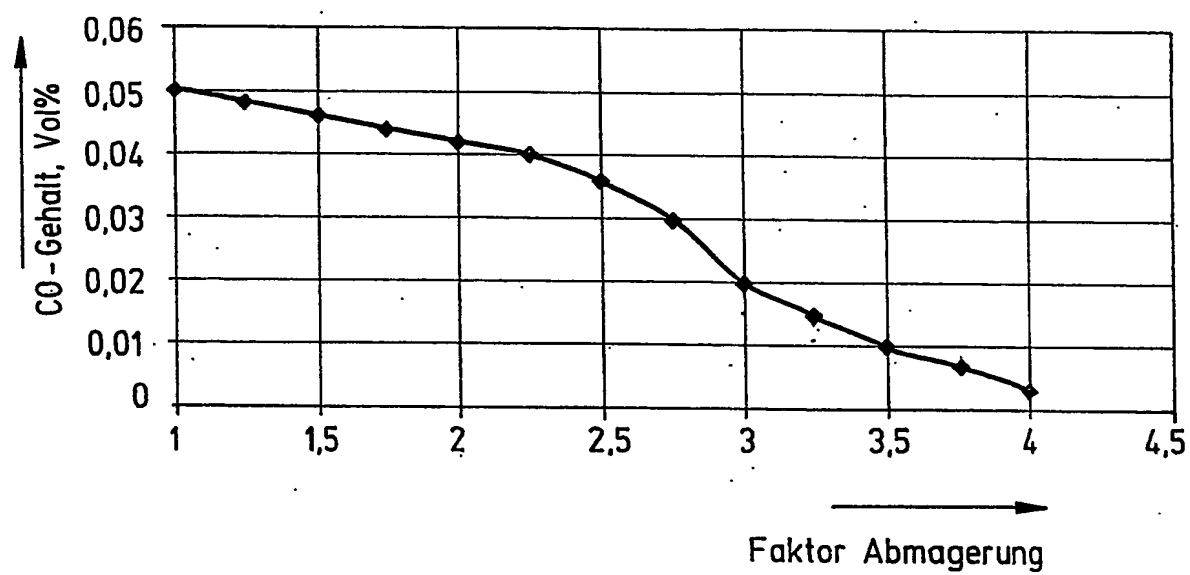


Fig.5

BEST AVAILABLE COPY

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/013421

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 F02P23/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 F02P F02B F02M F23C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 198 02 745 A1 (FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH, 76133 KARLSRUHE, DE; FORSCHUNGSZENTR) 29 July 1999 (1999-07-29) column 2, line 37 - column 3, line 56; claim 1	1-14
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 004, no. 033 (M-003), 21 March 1980 (1980-03-21) & JP 55 007972 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 21 January 1980 (1980-01-21) abstract; figure	1-14
A	US 2 617 841 A (LINDER ERNEST G) 11 November 1952 (1952-11-11) figures	7
----- -/-- -----		

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 February 2005

Date of mailing of the international search report

01/03/2005

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax. (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ulivieri, E

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/013421

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 199 14 941 C1 (DAIMLERCHRYSLER AG) 25 May 2000 (2000-05-25) figures column 2, lines 7-15 column 2, line 47 - column 3, line 19 column 6, lines 37-41	1-14
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 009, no. 087 (M-372), 17 April 1985 (1985-04-17) & JP 59 215967 A (TOYOTA JIDOSHA KK), 5 December 1984 (1984-12-05) abstract; figure	1-14
X	DE 197 47 701 A1 (VOLKSWAGEN AG, 38440 WOLFSBURG, DE; VOLKSWAGEN AG) 12 May 1999 (1999-05-12) column 2, lines 35-43 column 3, lines 39-53 column 4, lines 65-68	1-14
X	US 4 446 826 A (KIMURA ET AL) 8 May 1984 (1984-05-08) column 3, lines 9-36; claims; figures	1-14
X	US 3 934 566 A (WARD ET AL) 27 January 1976 (1976-01-27) column 6, lines 7-23 claims 1,10,12,14; figures 8,13,14,16	1-14
X	WO 03/042533 A (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AKTIENGESELLSCHAFT; STIEGLER, OTTMAR) 22 May 2003 (2003-05-22) page 8, lines 10-15; figure	1-14
X	DE 196 44 514 A1 (PINKALLA, REINER, 44329 DORTMUND, DE) 30 April 1998 (1998-04-30) the whole document	1-14
A	EP 0 680 243 A (VARIAN ASSOCIATES, INC; COMMUNICATIONS & POWER INDUSTRIES, INC) 2 November 1995 (1995-11-02) column 5, lines 8-13; figure 1	9,10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/013421

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19802745	A1	29-07-1999	AU 2618799 A WO 9937911 A1	09-08-1999 29-07-1999
JP 55007972	A	21-01-1980	NONE	
US 2617841	A	11-11-1952	NONE	
DE 19914941	C1	25-05-2000	NONE	
JP 59215967	A	05-12-1984	NONE	
DE 19747701	A1	12-05-1999	NONE	
US 4446826	A	08-05-1984	JP 1482983 C JP 57113968 A JP 63029112 B DE 3174112 D1 EP 0055871 A1	27-02-1989 15-07-1982 10-06-1988 17-04-1986 14-07-1982
US 3934566	A	27-01-1976	CA 1048594 A1 DE 2535960 A1 FR 2282042 A1 GB 1515148 A IT 1041553 B JP 51077719 A SE 7508978 A US 4138980 A	13-02-1979 26-02-1976 12-03-1976 21-06-1978 10-01-1980 06-07-1976 13-02-1976 13-02-1979
WO 03042533	A	22-05-2003	WO 03042533 A1 EP 1444434 A1	22-05-2003 11-08-2004
DE 19644514	A1	30-04-1998	NONE	
EP 0680243	A	02-11-1995	US 5532462 A AT 258743 T AU 1639195 A BR 9501821 A CA 2148010 A1 DE 69532488 D1 DE 69532488 T2 EP 0680243 A2 JP 8083681 A	02-07-1996 15-02-2004 16-11-1995 21-11-1995 30-10-1995 04-03-2004 25-11-2004 02-11-1995 26-03-1996

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/013421

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 F02P23/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F02P F02B F02M F23C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 198 02 745 A1 (FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH, 76133 KARLSRUHE, DE; FORSCHUNGSZENTR) 29. Juli 1999 (1999-07-29) Spalte 2, Zeile 37 - Spalte 3, Zeile 56; Anspruch 1	1-14
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 004, Nr. 033 (M-003), 21. März 1980 (1980-03-21) & JP 55 007972 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 21. Januar 1980 (1980-01-21) Zusammenfassung; Abbildung	1-14
A	US 2 617 841 A (LINDER ERNEST G) 11. November 1952 (1952-11-11) Abbildungen	7
	----- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. Februar 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

01/03/2005

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Olivieri, E



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/013421

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 199 14 941 C1 (DAIMLERCHRYSLER AG) 25. Mai 2000 (2000-05-25) Abbildungen Spalte 2, Zeilen 7-15 Spalte 2, Zeile 47 - Spalte 3, Zeile 19 Spalte 6, Zeilen 37-41	1-14
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 009, Nr. 087 (M-372), 17. April 1985 (1985-04-17) & JP 59 215967 A (TOYOTA JIDOSHA KK), 5. Dezember 1984 (1984-12-05) Zusammenfassung; Abbildung	1-14
X	DE 197 47 701 A1 (VOLKSWAGEN AG, 38440 WOLFSBURG, DE; VOLKSWAGEN AG) 12. Mai 1999 (1999-05-12) Spalte 2, Zeilen 35-43 Spalte 3, Zeilen 39-53 Spalte 4, Zeilen 65-68	1-14
X	US 4 446 826 A (KIMURA ET AL) 8. Mai 1984 (1984-05-08) Spalte 3, Zeilen 9-36; Ansprüche; Abbildungen	1-14
X	US 3 934 566 A (WARD ET AL) 27. Januar 1976 (1976-01-27) Spalte 6, Zeilen 7-23 Ansprüche 1,10,12,14; Abbildungen 8,13,14,16	1-14
X	WO 03/042533 A (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AKTIENGESELLSCHAFT; STIEGLER, OTTMAR) 22. Mai 2003 (2003-05-22) Seite 8, Zeilen 10-15; Abbildung	1-14
X	DE 196 44 514 A1 (PINKALLA, REINER, 44329 DORTMUND, DE) 30. April 1998 (1998-04-30) das ganze Dokument	1-14
A	EP 0 680 243 A (VARIAN ASSOCIATES, INC; COMMUNICATIONS & POWER INDUSTRIES, INC) 2. November 1995 (1995-11-02) Spalte 5, Zeilen 8-13; Abbildung 1	9,10

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/013421

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 19802745	A1	29-07-1999	AU WO	2618799 A 9937911 A1	09-08-1999 29-07-1999
JP 55007972	A	21-01-1980	KEINE		
US 2617841	A	11-11-1952	KEINE		
DE 19914941	C1	25-05-2000	KEINE		
JP 59215967	A	05-12-1984	KEINE		
DE 19747701	A1	12-05-1999	KEINE		
US 4446826	A	08-05-1984	JP	1482983 C	27-02-1989
			JP	57113968 A	15-07-1982
			JP	63029112 B	10-06-1988
			DE	3174112 D1	17-04-1986
			EP	0055871 A1	14-07-1982
US 3934566	A	27-01-1976	CA	1048594 A1	13-02-1979
			DE	2535960 A1	26-02-1976
			FR	2282042 A1	12-03-1976
			GB	1515148 A	21-06-1978
			IT	1041553 B	10-01-1980
			JP	51077719 A	06-07-1976
			SE	7508978 A	13-02-1976
			US	4138980 A	13-02-1979
WO 03042533	A	22-05-2003	WO	03042533 A1	22-05-2003
			EP	1444434 A1	11-08-2004
DE 19644514	A1	30-04-1998	KEINE		
EP 0680243	A	02-11-1995	US	5532462 A	02-07-1996
			AT	258743 T	15-02-2004
			AU	1639195 A	16-11-1995
			BR	9501821 A	21-11-1995
			CA	2148010 A1	30-10-1995
			DE	69532488 D1	04-03-2004
			DE	69532488 T2	25-11-2004
			EP	0680243 A2	02-11-1995
			JP	8083681 A	26-03-1996